



TITLE:

Numerical analysis of earthquakes and internal erosion during gas production from hydrate-bearing sediments(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Akaki, Toshifumi

CITATION:

Akaki, Toshifumi. Numerical analysis of earthquakes and internal erosion during gas production from hydrate-bearing sediments. 京都大学, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20324>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	赤木 俊文
論文題目	Numerical analysis of earthquakes and internal erosion during gas production from hydrate-bearing sediments（ハイドレート含有地盤のガス生産時における地震および内部浸食に関する数値解析）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、ガスハイドレート含有地盤の地震時挙動および内部浸食挙動の解明と予測のための数値解析法を論じたものである。固体と流体の混合体である対象地盤の挙動を多相混合体理論の枠組みで定式化して数値解析法を開発するとともに、提案手法の妥当性について検証したものであり、序論と結論を含め7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景となるメタンハイドレート資源開発に関わる工学的問題について、地盤工学の視点から整理している。また、本研究の目的および各章の概要を示している。</p> <p>第2章では、ガスハイドレート含有地盤の地震時動的挙動を取り扱うため化学 - 熱 - 力学連成動的解析手法を定式化し、有限要素解析法に基づいて離散化式を得ている。支配方程式は、多相混合体理論に基づき地盤を固相、液相、気相の重ね合わせによって表現し、全体相について定式化した運動方程式を扱い質量保存則は各相について定式化している。有限変形解析法としては updated Lagrangian 法を採用し、動的問題を取り扱うため時間離散化には Newmark の β 法を採用している。ハイドレート分解時の化学変化は、固相から液相および気相への質量変換として取り入れている。</p> <p>また、分解時の質量変換速度式の時間離散化手法の数値安定性への影響について検証し、完全陰解法によるスキームを取り入れた場合に最も安定であることを明らかにしている。</p> <p>第3章では、前章で提案した化学 - 熱 - 力学連成動的解析手法を用いて、ハイドレート含有地盤のガス生産時の海底地盤の地震時挙動の数値解析を行っている。東部南海トラフで実施された海洋産出試験実施地点を想定し、同地点で採取された土試料の力学試験結果より地盤の弾粘塑性構成式の材料パラメータを決定して、ガス生産中に地震が発生した場合の地盤の動的応答や分解挙動について検証している。その結果、ガス産出時の地盤の地震時挙動は、東部南海トラフの試験実施地点の地盤を想定した場合、ガス産出を考慮しない場合と比較して顕著な違いは見られないとしている。また、ハイドレート含有層上部の地層構成によっては、ガス生産の影響により地震時の地盤変形が増大する可能性があることを示している。</p> <p>第4章では、ガス生産時の出砂挙動を取り扱い、地盤の内部浸食を取り入れた動的有限要素解析手法を定式化している。内部浸食挙動のうち、特に地盤内部の土粒子の剥離・移流の挙動を表現するため、浸食され土骨格から剥離した土粒子を浮遊土粒子として流体相の中で扱い、粒子径ごとの土粒子グループについて移流方程式を解く手法を用いている。このため地盤材料の粒度に依存する内部浸食挙動を再現することが可能である。また、内部浸食の発生条件と浸食速度を表現する構成則を提案している。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	赤木 俊文
<p>第 5 章では、前章で提案した内部浸食を考慮した化学-熱-力学動的解析手法を用いて、まず種々の内部浸食挙動の室内試験結果を要素シミュレーションにより再現し、提案モデルの妥当性を示している。特に粒度特性の異なる種々の試料について浸食速度変化の再現に成功している。次に、海洋のガスハイドレート含有地盤における減圧法による生産時の挙動を解析例として取り上げ、軸対称条件における生産井戸周辺の出砂挙動について検証している。解析結果より、出砂の生じる範囲が浸食限界を与える限界駆動力に依存すること、出砂挙動は減圧過程中に顕著となることなどを明らかにしている。</p> <p>第 6 章では、前章までで扱ってきた細粒分流出を伴う内部浸食に加え、生産井近傍などの地盤境界部から進展する後退浸食を表現するための解析手法を提案している。内部浸食を抑制するメカニズムのうち、土粒子間の拘束力に加え下流方向の間隙構造による幾何学的条件による抑制の定式化を、間隙径に依存するフィルター指数を導入することにより試みている。また、提案手法の検証のためハイドレート生産井周囲にフィルター損傷部を想定した解析モデルを用い、生産井内を減圧した場合の浸食挙動の再現結果を示している。</p> <p>第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ガスハイドレート含有地盤の地震時挙動および内部浸食挙動の解明と予測のための数値解析法の提案に関する研究成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. ガスハイドレート含有地盤の地震時動的挙動を取り扱うことが可能な化学 - 熱 - 力学連成動的解析手法を定式化し、有限要素解析法に基づいて離散化式を得るとともに数値解析法を開発した。提案手法により、ガスハイドレート分解時の質量変換による各相の分応力変化と流体の流れ、熱の移動、地盤の動的変形挙動を取り扱うことを可能とした。
2. 上記で開発した手法を用いて東部南海トラフで実施された海洋産出試験を想定した動的解析を行った結果、ガス産出中の地盤の地震時挙動は、海洋試験実施地点の地層構成と強度特性を考慮した場合、ガス産出を考慮しない場合と比較して動的応答に顕著な違いは見られないことを示した。また、ハイドレート含有層上部の地層構成によっては、ガス生産の影響により地震時の地盤変形が増大する可能性があることを示した。
3. ガス生産時の出砂挙動を取り扱うため、地盤の内部浸食を考慮した動的有限要素解析手法を定式化するとともに数値解析手法を開発した。提案された手法は、内部浸食挙動のうち、特に地盤内部の土粒子の剥離・移流の挙動を表現することができる。また粒子径ごとの土粒子グループについて移流方程式を解くことにより、地盤材料の粒度に依存する内部浸食挙動の再現を可能とした。
4. 上記で提案した手法により種々の内部浸食挙動の室内試験結果を再現し、提案した内部浸食構成則の適用性を明らかにした。また、海洋のガスハイドレート含有地盤における減圧法による生産時の挙動を解析し、出砂挙動は減圧過程に顕著となることなどを明らかにしている。また、生産井近傍などの地盤境界部から進展する後退浸食を再現可能な解析手法を提案した。

以上より、本論文は、ガスハイドレート分解時の地盤の安定性評価に関し、地盤工学の進展に多大に貢献する研究であり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 1 月 25 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

